



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
DE 43 31 391 A 1

51 Int. Cl.⁸:
H01 L 29/788
H 01 L 27/148

21 Aktenzeichen: P 43 31 391.4
22 Anmeldetag: 15. 9. 93
23 Offenlegungstag: 16. 3. 95

DE 43 31 391 A 1

11 Anmelder:

Kemmer, Josef, Dr., 85764 Oberschleißheim, DE;
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der
Wissenschaften e.V., 80539 München, DE

14 Vertreter:

Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 80689
München; Steinmann, O., Dr., Rechtsanw., 81677
München

12 Erfinder:

Lutz, Gerhard, Dr., 81739 München, DE; Richter,
Reiner, Dr., 81243 München, DE; Ehwald, Karl Ernst,
15232 Frankfurt, DE; Kemmer, Josef, Dr., 85764
Oberschleißheim, DE

54 Halbleiter(detektor)struktur

- 57 Beschrieben wird eine Halbleiter(detektor)struktur, bestehend aus einem auf einem im wesentlichen verarmten Halbleiterkörper angeordneten Unipolartransistor mit einem Drain, einer Source, einem Rücksetzkontakt, einem Topgate, sowie einer potentiellmäßig schwimmenden Schicht, die mindestens ein Gate des Unipolartransistors bildet, sowie mindestens einem Kondensator.
Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die Source unmittelbar an die erste(n) Elektrode(n) des Kondensators (der Kondensatoren) angeschlossen ist und der (die) Kondensator(en) gemeinsam mit der Halbleiterstruktur integriert ist (sind).

DE 43 31 391 A 1

In der Patentanmeldung wird eine Halbleiterstruktur vorgeschlagen, die sowohl Detektor- als auch Verstärkereigenschaften besitzt. Solche Strukturen sind aus früheren Patentanmeldungen (1) als auch aus der Literatur (2) bekannt. Sie eignen sich als eigenständiger Detektor, als integrierte Auslestruktur anderer Halbleiterdetektoren wie z. B. Driftkammern (3), Drift-Dioden (4) oder CCDs (5) und insbesondere als Grundelement von Bildzellen-Detektoren (6).

In allen diesen Anwendungen erfolgt das Auslesen durch Vergleich des Stromflusses des Unipolartransistors mit und ohne Signalladung, die in einem Potentialminimum (Maximum für negative Ladung) unterhalb des Transistorkanals, dem "internen" Gate, gesammelt wird. Das Rücksetzen des Systems (Löschen der Signalladung) erfolgt entweder durch Anlegen eines Spannungspulses (positiv für gespeicherte Elektronen) an eine Rücksetz-Elektrode oder durch kontinuierliches Überlaufen des nahezu gefüllten Potentialtopfes.

Ein Problem in der Anwendung dieses Detektorprinzips ergibt sich bei Anordnungen, in denen eine Vielzahl dieser Detektor-Verstärker-Strukturen verwendet werden. Dies ist z. B. der Fall bei Bildzellen-Detektoren. Hier möchte man zur Reduzierung des Leistungsverbrauchs die einzelnen Transistoren mit möglichst geringem Ruhestrom betreiben. Da im allgemeinen Schwellenspannungsschwankungen in den individuellen Transistoren auftreten, die Transistoren aber mit gleichen Spannungen betrieben werden, kann der Leistungsverbrauch des Gesamtsystems nicht beliebig klein gemacht werden. Weiterhin können unterschiedlich Ruhestrome unterschiedliche Steilheiten und damit auch unterschiedliche Signalverstärkungen sowie "Offsets" zur Folge haben.

Ziel der Erfindung ist es, die Detektor-Verstärkerstruktur im Ladungssammelnzustand nahe der Schwelle zu betreiben, so daß der Leistungsverbrauch in diesem Zustand sehr klein ist. Dabei soll sich dieser Zustand selbständig einstellen, im wesentlichen unabhängig von den angelegten Spannungen, bzw. der Schwellenspannung des Transistors.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Source des Transistors nicht direkt, sondern über eine Kapazität an eine externe Spannung angeschlossen wird. Die Funktionsweise soll anhand einer p-Kanal DEPFET-Struktur erläutert werden. Es sind allerdings auch andere Strukturen denkbar. Die Source ist an den Kondensator angeschlossen, dessen zweite Elektrode auf festem Potential V_k (z. B. Erdpotential) liegt. Die Kapazität ist in die Struktur integriert. Ein Beispiel, für diese Integration ist in Abb. 1 gegeben, in der Querschnitt sowie Aufsicht einer geschlossenen (ringförmigen) Transistorstruktur in einem im Wesentlichen vollständig verarmten n-dotierten Halbleiterkörper gezeigt wird. Gate (G) und Source (S) sind deshalb an beiden Seiten der im Zentrum angeordneten Drain (D) zu sehen, eine kleine Rücksetzelektrode (L) befindet sich in der Source rechts. Der Rückkontakt (R) dient zur Verarmung des Halbleiterkörpers von Ladungsträgern und zur Ausbildung eines Potentialberges unterhalb der oberen Hauptfläche. Eine großflächige Verstärkung (N) der n-Dotierung bewirkt gleichzeitig die Ausbildung eines Potentialmaximums (1) zwischen Source und Drain, sowie die Verhinderung von Löcherinjektion aus P-Gebieten der Oberseite zur Unterseite, wenn das Potentialmaximum durch Anlegen einer negativen Spannung an

den Rückkontakt (R) nahe an die obere Hauptfläche geschoben wird. Das Potentialmaximum unterhalb des Gates kann durch Zusätzliche lokale n-Implantation noch verstärkt werden. Das Implantationsgebiet der Source (links im Bild) dient gleichzeitig als erste Elektrode der Kapazität. Zusammen mit dem Dielektrikum (1) und der darüber befindlichen (metallischen) extern anschließbaren zweiten Elektrode (M) wird die Kapazität C_k gebildet. Das Dielektrikum 1 wird in der Aufsicht nicht gezeigt.

Auf ein anderes Beispiel der Integration des Kondensators wird später eingegangen. In der Funktionsbeschreibung wird von einem Ausgangszustand ausgegangen, in dem Drain D auf Erdpotential und das Gate G auf einem festen Potential V_g liegen, so daß Source und Drain über den Kanal C miteinander leitend verbunden sind. Der Rückkontakt R ist auf genügend negativem Potential, so daß der n-dotierte Halbleiterkörper im Wesentlichen verarmt ist. Wird nun eine negative Spannung V_p an das Drain angelegt, so fließt ein Drainstrom, der zum Erliegen kommt, wenn die Source eine genügend negative Spannung erreicht hat, so daß der Transistor wieder gesperrt ist.

Die Detektor-Verstärker Struktur kann nun in diesem nahezu stromlosen Zustand gehalten werden. Wird nun z. B. durch Einfall ionisierender Strahlung negative Signalladung im Potentialmaximum unter dem Gate gesammelt, so wird der Transistorkanal wieder leitend und sperrt erst wieder bei Erreichung einer entsprechend negativeren Source-Spannung. Die im generierten Strompuls transferierte Ladung entspricht der Signalladung verstärkt um den Faktor $\approx C_k/C_g$ wobei C_g die Gate-Kanal Kapazität ist. Die verstärkte Signalladung wird in der beschriebenen Weise sofort, z. B. durch Messung des Drainstromes ausgelesen. Sie kann aber auch verzögert ausgelesen werden, wenn das Gate nach Einstellung des Gleichgewichtszustandes zu positiven Werten hin verschoben wird. Dann bewirkt die zusätzliche Signalladung keinen Stromfluß. Dieser tritt erst auf, wenn die Gatespannung auf den ursprünglichen Wert zurückgesetzt wird. In einer Anordnung mit vielen Detektor-Verstärker-Strukturen wird damit ein seriell Auslesen ermöglicht, wenn die Gatespannungen zeitlich versetzt verändert werden. Zusätzlich kann dabei das Auslesen durch die Einstellung einer negativeren Gatespannung beschleunigt werden.

Das Löschen der Signalladungen kann nach bereits bekannten Methoden erfolgen, oder aber durch eine neue Struktur, auf die erst später eingegangen wird. Nach dem Löschen der Signalladung ist die Struktur (zumindest für kleinere Signale) unempfindlich. Ein Rücksetzen der Kapazität C ist erforderlich. Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen. Konzeptionell am einfachsten ist eine kurzzeitige Veränderung der Drainspannung V_p in positive Richtung bis zu einem Wert, bei welchem die Funktion von Drain und Source vertauscht sind. Damit stellt sich die Sourcespannung wieder auf den ursprünglichen Wert ein. Die dabei fliegende Nettoladung entspricht der verstärkten Signalladung und kann daher auch zu ihrer Bestimmung benutzt werden.

Eine andere Möglichkeit zum Rücksetzen der Source ist die Generation von Elektron-Loch-Paaren in der Region zwischen Source bzw. Kanal und Gate oder einem anderen positiven Kontakt (z. B. Rücksetzkontakt). Dies kann z. B. durch kurzzeitige Beleuchtung erfolgen. Auch stetige langzeitige Beleuchtung oder eine Verringerung der Minoritätsladungsträger-Lebensdauer in Oberflä-

chenne ist von Interesse. Damit können die Strukturen kontinuierlich nahe der Schwelle bei kleinen Strömen betrieben werden. Um die Generation von Ladungsträgern durch Licht auf bestimmte Gebiete, wie z. B. die unmittelbare Umgebung der Source zu begrenzen, kann eine lichtdurchlässige Schicht auf der Oberseite der Halbleiterstruktur aufgebracht werden, die lokale Öffnungen aufweist.

Verschiedene Rücksetzmethode für die Signalladung sind in der Literatur beschrieben worden. Meistens wird ein n^+ Kontakt nahe (oder innerhalb) der Drain oder Source angebracht und durch Anlegen eines positiven Spannungspulses das Potential im Halbleiterkörper so verändert, daß das Potentialmaximum unter dem Gate kurzzeitig verschwindet (oder zumindest verringert wird) und die Signalladung zum Rücksetz-Kontakt abfließt. Auch ein kontinuierlicher langsamer Abfluß ist möglich, wenn ein kleiner Rücksetz-Kontakt unsymmetrisch zur Source angebracht ist. Dann fließt die Signalladung nur an einer Stelle entlang der Breite des Kanals (langsam) zum Rücksetzkontakt ab. Alle diese Rücksetz-Strukturen haben den Nachteil, daß das Potential im Inneren des Halbleiters (die Detektorregion) vom Löschvorgang, oder schon durch die Anwesenheit der Rücksetzelektrode (bei kontinuierlichem Löschen), beeinflusst wird. Da das Potential der Rücksetzelektrode oft positiver als das Potential des internen Gates ist, wird während des Löschvorganges zumindest ein Teil der generierten Signalladung direkt zum Rücksetz-Kontakt abfließen und für eine spätere Messung nicht mehr zur Verfügung stehen.

Eine Rücksetz-Struktur, die diese Nachteile vermeidet, ist in Abb. 2 gezeigt. Sie besteht aus einem n^+ -Kontakt (L, der an der Oberfläche in Nähe des Potentialmaximums (1) angebracht ist, in dem die Signalladungen (Elektronen) gesammelt werden). Er ist von den Signalladungen durch den p-dotierten Kanal (C) getrennt. In dem gezeigten Beispiel befindet er sich an einer lokalen Stelle zwischen Source (S) und Gate (G) der im wesentlichen ringförmig ausgebildeten Struktur. Die Signalladung kann nun durch Anlegen eines positiven Pulses über die durch die Kanalimplantation (C) bewirkte Potentialbarriere hinweg gelöscht werden. Noch interessanter ist aber das kontinuierlich Wegführen durch Wahl einer geeigneten konstanten positiven Spannung am Rücksetz-Kontakt (L).

In den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen wurde die Source der Grundstruktur über jeweils eine Kapazität an ein definiertes Potential gelegt. Es ist aber auch möglich, die Kapazität in mehrere Teilkapazitäten aufzuspalten, die jeweils mit einer anderen (eventuell auf verschiedenem Potential befindlichen) Elektrode verbunden wird. Das verstärkte Signal spaltet sich dann im Verhältnis der Kapazitäten auf und kann mehrmals verarbeitet werden. Dies ist z. B. von Interesse in Bildzellendetektoren, bestehend aus einer Matrix von Grundzellen, in denen Kondensatoren verschiedener Grundelemente über Auswahlleitungen miteinander verbunden werden. Sind mehrere Kondensatoren (z. B. drei) pro Grundzelle vorhanden, so kann man mehrere, in verschiedene (drei) Richtungen verlaufende Auswahlleitungen verwenden. Wird diese Anordnung nun im Schwellenzustand betrieben, so tritt das Signal eines Teilschens an mehreren Auswahlleitungen auf und eine eindeutige Ortszuordnung ist auch bei mehreren gleichzeitig einfallenden Teilchen möglich.

Ein Beispiel für die Grundstruktur einer derartigen Anordnung ist in Abb. 3 gezeigt. Der Querschnitt einer

geschlossenen Grundstruktur zeigt links die Ausbildung der den Großteil der Oberfläche einnehmenden Kapazitäten, der rechte Teil die Anschlüsse (K1, K2, K3), für die Auswahlleitungen. Die erste, mit der Source verbundene Elektrode der Kapazitäten ist als Metallelektrode (M) über dem Dielektrikum (1) ausgebildet. Die zweiten, an die Auswahlleitungen angeschlossenen Elektroden der Kapazitäten sind ringförmig ausgebildet, als implantierte Bereiche (K1, K2, K3) im Substrat. Die Knoten K1, K2 und K3 werden durch Kontakte entsprechend dem Ersatzschaltbild (Abb. 4) an in unterschiedliche Richtungen verlaufende Auswahlleitungen (A1, A2, A3) angeschlossen. Durch Anlegen von unterschiedlichen Spannungen an die Auswahlleitungen unterschiedlicher Richtung ist es in dieser Anordnung möglich, ein Driftfeld zu erzeugen, das die Signalelektronen zu den Potentialmaxima unter den Gates hineinleitet, und damit die Ladungssammungszeit verkürzt. Weiterhin ist es in dieser Anordnung, bei der die zweiten Elektroden als Implantat im Halbleiter geführt werden, möglich, die Auswahlleitungen verschiedener Richtungen ohne Einführung einer zusätzlichen Verdichtungsfläche zu überkreuzen.

In den bisherigen Ausführungsbeispielen wurde das Topgate (G) an eine externe Spannung angeschlossen. Es ist aber auch möglich das Topgate mit dem internen Gate (1) (teilweise mit Elektronen gefülltes Potentialmaximum) zusammenzuschließen. In dem in Abb. 5 gezeigten Beispiel erfolgt dies durch Weglassen der Kanal-dotierung (C) unterhalb eines Teils des Gates (2 rechts im Bild). Das Potential dieses zusammengeschlossenen Gates wird durch den Rücksetzvorgang vorinstalliert. Das Löschen der Signalladung kann dabei sowohl kontinuierlich als auch gepulst erfolgen. Ein Vorteil dieser Anordnung ist, daß die Auswahlleitung für das Topgate (G) entfallen kann. Die Löschstruktur für die Signalladung ist im Bild nicht gezeigt. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist eine erhöhte Steuerung der Signalladung auf den Kanal, sowie eine Erhöhung der Geschwindigkeit des Signalanstieges, insbesondere beim Betrieb des Transistors nahe der Schwelle.

In den bisherigen Ausführungsbeispielen wurden ringförmige Strukturen gezeigt. Andere Geometrien sind natürlich auch möglich, wie z. B. rechteckige oder sechseckige, die von Vorteil sind, wenn z. B. in Bildzellendetektoren große Flächen vollständig bedeckt werden sollen. Auch nicht geschlossene Strukturen sind möglich. Ein Beispiel dafür ist in Abb. 6 gezeigt. Bei dieser Struktur sind internes (1) und externes (G) Gate miteinander verbunden (Schnitt A). Im Bereich der Rücksetzelektrode (Schnitt C) wird die Kanalimplantation (C) nicht durchgehend zwischen Source und Drain ausgeführt. Der Transistorstrom ist somit auf den zentralen Bereich (Schnitt C) beschränkt in dem die Steuerung von externem und internem Gate gleichzeitig erfolgt.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen wurden nur p-Kanal Sperrschichteffeldektre Transistoren (p-JFET) auf n-dotiertem Substrat gezeigt. Es ist natürlich auch möglich n-Kanal Transistoren auf p-Substrat zu verwenden. Weiterhin ist es möglich Verarmungs- oder Anreicherungs-MOS-Transistorstrukturen, sowie weitere Unipolartransistoren zu verwenden.

Literaturverzeichnis

1. DE-Patent 34 27 476.6 Us-Patent 4,885,620

2. J. Kewer, G. Lutz: New Detector Concepts. Nucl. Instr./& Meth. A 253, 365—377 (1987). EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF A NEW SEMICONDUCTOR DETECTOR PRINCIPLE. By J. Kemmer, G. Lutz, U. Prechtel, K. Schuster, M. Sterzik, L. Struder, T. Ziemann MPI-PAE/Exp-EL-204, Jun 1989 Nucl. Instr./& Meth. A288 (1990) 92
3. SEMICONDUCTOR DRIFT CHAMBERS FOR POSITION AND ENERGY MEASUREMENTS. By P. Rehak, E. Gatti, A. Longoni, J. Kemmer, P. Holl, R. Klammer, G. Lutz, A. Wylie Nucl. Instrum. Methods A235 (1985) 224—234.
4. J. Kemmer, G. Lutz, E. Belau, U. Prechtel and W. Weiser: Low Capacity Drift Diode. Nucl. Instr./& Meth. A 253, 378—381, (1987).
5. L. Strueder, P. Holl, J. Kemmer, G. Lutz: Device modeling of fully depleted CCDs. Nucl. Instr./& Meth. A 253, 388—392, (1987). L. Strueder, P. Holl, J. Kemmer, G. Lutz: Development of Fully Depletable PN CCDs for High Energy Applications. Nucl. Instr./& Meth. A 257 (1987) 594—602
6. G. Lutz, et al.: Present and Future Semiconductor Tracking Detectors MPI-PAE / Exp.EL 175 April 1987, J. Kemmer and G. Lutz: New structures for position sensitive semiconductor detectors Nucl. Instr./& Meth. A 273 (1988) 588—598

Patentsprüche

1. Halbleiter(detektor)struktur, bestehend aus einem auf einem im wesentlichen verarmten Halbleiterkörper angeordneten Unipolartransistor mit einem Drain, einer Source, einem Rücksetzkontakt, einem Topgate, sowie einer potentialmäßig schwimmenden Schicht, die mindestens ein Gate des Unipolartransistors bildet, sowie mindestens einem Kondensator dadurch gekennzeichnet, daß die Source unmittelbar an die erste(n) Elektrode(n) des Kondensators (der Kondensatoren) angeschlossen ist und der (die) Kondensator(en) gemeinsam mit der Halbleiterstruktur integriert ist (sind).
2. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Unipolartransistor ein MOS Verarmungs- oder Anreicherungs-transistor ist.
3. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Unipolartransistor ein Sperrschichtfeldeffekttransistor ist.
4. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Source Dotierung des Unipolartransistors die erste Elektrode des Kondensators bildet.
5. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Source über mehrere Kondensatoren an extern zugängliche Kontakte angeschlossen ist.
6. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Elektroden der Kondensatoren durch dotierte Gebiete in der Halbleiteroberfläche gebildet werden.
7. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß Topgate und internes Gate miteinander elektrisch verbunden sind und gemeinsam eine potentialmäßig schwimmende Gebiete bilden.
8. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das

- Rücksetzen der potentialmäßig schwimmenden Source durch kurzzeitiges Vertauschen der Funktionen von Source und Drain durch Spannungsänderung an den Elektroden erfolgt.
9. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß sich an die potentialmäßig schwimmende Source eine Schicht mit gegenüber dem Substratmaterial stark reduzierter Minoritätsladungsträgerlebensdauer anschließt.
10. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine in der Nähe des Detektors angeordnete Lichtquelle die Umgebung der potentialmäßig schwimmenden Source mit gepulstem oder kontinuierlichem Licht bestrahlt.
11. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Oberseite des Detektors eine lichtundurchlässige Schicht befindet, die in der Umgebung der potentialmäßig schwimmenden Source Öffnungen aufweist.
12. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Rücksetzen des potentialmäßig schwimmenden internen Gates gepulst oder kontinuierlich über eine n-p-n (für Signalelektronen) oder p-n-p (für Signallöcher) Struktur erfolgt, wobei die Gebiete gleichen Leitungstyps das interne Gate sowie die Rücksetzelektrode bilden.
13. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Potentialbarriere für das Rücksetzen, die mittlere Dotierung der n-p-n oder p-n-p Struktur, durch die Kanaldotierung gebildet wird.
14. Halbleiter(detektor)struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß durch matrixförmige Anordnung der Grundstrukturen in Bildzeilendetektor entsteht, dessen Bildzellen über Auswahlleitungen aktiviert und ausgelesen werden können.
15. Halbleiter(detektor)struktur nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Source des jeweiligen Pixels über mehrere Kondensatoren an die mit den zweiten Elektroden der Kondensatoren verbundenen Auswahlleitungen angeschlossen sind.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

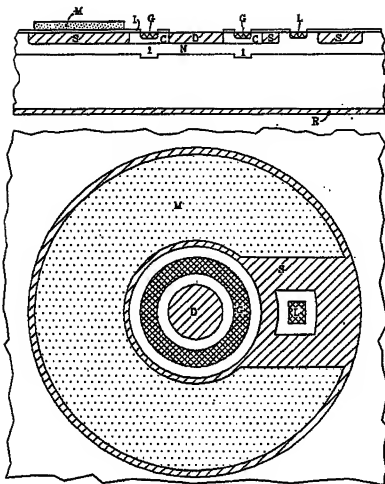


Abb. 1

X

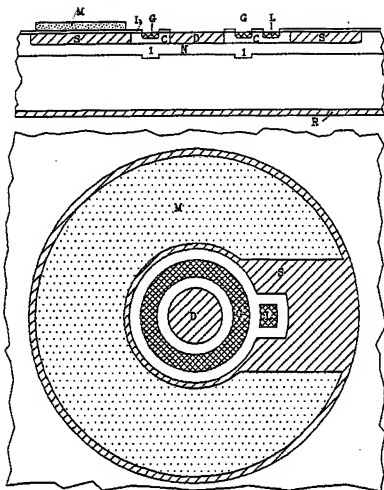


Abb. 2

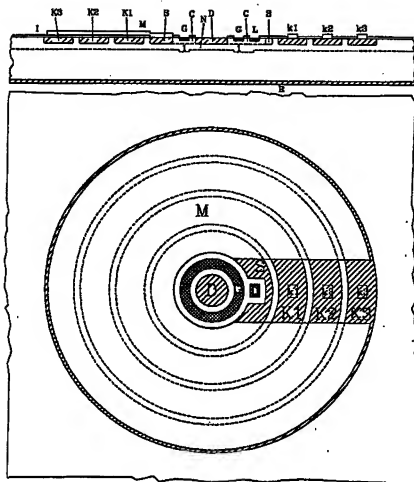


Abb.3

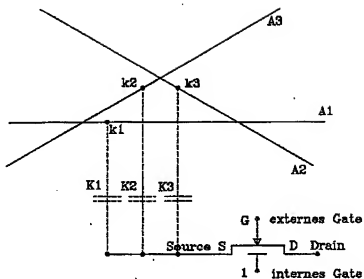


Abb. 4

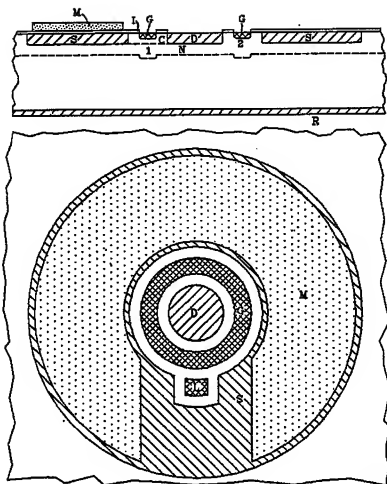
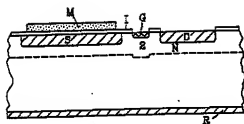
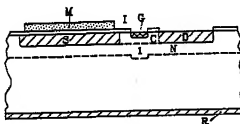


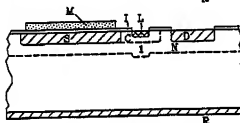
Abb. 5



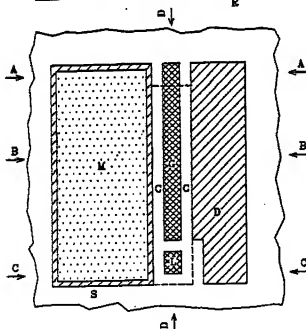
Schnitt A-A



Schnitt B-B



Schnitt C-C



Schnitt D

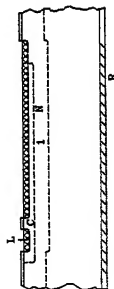


Abb. 6